DOI: 10.22092/spj.2023.363224.1318

"مجله نهال و بذر"
جلد ۳۸، شماره ۴، سال ۱۴۰۱

مقاله پژوهشی

برهمکنش ژنوتیپ × سن گیاهچه برای عملکرد و اجزای عملکرد ریزغده‌های سیب‌زمینی در سامانه هواکشت

Genotype × Plantlet Age Interaction for Yield and Yield Components of Potato Minitubers in Aeroponic System

احمد موسی پور گرجی[1*]، داود حسن پناه[2]، سمیرا بوژانی[3] و حمید رضا عبدی[4]

۱- دانشیار، بخش تحقیقات سبزی و صیفی، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۲- دانشیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران.
۳- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر، اسلامشهر، ایران.
۴- پژوهشگر، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۰۹

چکیده

موسی پور گرجی، ا.، حسن پناه، د.، بوژانی، س. و عبدی، ح .ر. ۱۴۰۱. برهمکنش ژنوتیپ × سن گیاهچه برای عملکرد و اجزای عملکرد ریزغده‌های سیب‌زمینی در سامانه هواکشت. **مجله نهال و بذر ۳۸:** ۵۱۷-۴۹۷

به منظور بررسی اثر ژنوتیپ، سن گیاهچه و بر همکنش آنها بر عملکرد و اجزای عملکرد ریزغده‌های تولیدی سیب‌زمینی در سامانه هواکشت، این پژوهش در سال ۱۳۹۳ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل و شرکت بهپرور سبلان اردبیل به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. کلون‌های امیدبخش ۲-۳۹۷۰۹۷ -C و C-۱-۳۹۷۰۸۱ و دو رقم آگریا و Caesar به عنوان عامل اول و سه سن گیاهچه (۳۰، ۴۰ و ۵۰ روزه) به عنوان عامل دوم درنظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که غده‌زایی و رشد ریزغده‌ها در سامانه هواکشت با تاخیر همراه بود. اثر سن گیاهچه، در مقایسه با اثر ژنوتیپ، تاثیر بیشتر و معنی داری بر عملکرد و اجزای عملکرد ریزغده داشت. بررسی برهمکنش ژنوتیپ × سن گیاهچه نشان داد که واکنش ژنوتیپ‌ها برای عملکرد و اجزای عملکرد ریزغده، به استثنای میانگین وزن ریزغده، در سنین مختلف گیاهچه به طور معنی‌داری متفاوت بود. کلون ۱-۳۹۷۰۸۱-C با سن گیاهچه ۳۰ روزه بیشترین تعداد ریزغده در بوته (میانگین ۵۷/۳ ریزغده در بوته) را تولید کرد. مناسبترین سن گیاهچه برای رقم Caesar و کلون ۲-۳۹۷۰۹۷-C جهت انتقال به محیط هواکشت ۴۰ روزه بود که به ترتیب دارای میانگین ۵۵/۵۷ و ۵۴/۵۳ ریزغده در بوته بودند. برای کلون۲-۳۹۷۰۹۷ -C از نظر تعداد ریزغده در بوته بین سن گیاهچه ۳۰ و ۴۰ روزه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. رقم آگریا در سن گیاهچه ۴۰ روزه با میانگین ۴۵/۷ ریزغده در بوته بود. کلون های ۱-۳۹۷۰۸۱-C، ۲-۳۹۷۰۹۷-C، و ارقام آگریا و Caesar به ترتیب ۱۲۰۳، ۱۲۳۵، ۱۱۱۳ و ۱۲۲۳ ریزغده در متر مربع داشتند. تجزیه رگرسیون گام به گام پیش‌رونده نشان داد که میانگین وزن ریزغده و وزن ریزغده در بوته در انتخاب ژنوتیپ مناسب برای تولید تعداد ریزغده بالا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بود. اثر میانگین وزن ریزغده و ارتفاع بوته برروی تعداد ریزغده در بوته منفی بود. نتایج این پژوهش نشان داد که تولید ریزغده برای ژنوتیپ های سیب زمینی مورد مطالعه بیشتر تحت تاثیر سن گیاهچه بود. سن گیاهچه سیب‌زمینی بین ۳۰ الی ۴۰ روزه برای انتقال به سامانه هواکشت مناسب تعیین شد.

واژه‌های کلیدی: سیب‌زمینی، تعداد ریزغده در بوته، وزن ریزغده، تعداد ساقه در بوته، ارتفاع بوته.

* نگارنده مسئول: mousapour.gorji@gmail.com تلفن: ۰۲۶۳۶۷۰۲۹۸۳

مقدمه

سطح زیر کشت سیب‌زمینی در جهان بیش از ۱۹ میلیون هکتار و مقدار کل تولید آن بیش از ۳۸۱ میلیون تن است (FAO, 2021). سطح زیر کشت سیب‌زمینی در ایران حدود ۱۵۰ هزار هکتار و مقدار کل تولید آن به حدود ۵ میلیون تن برآورد شده است (FAO, 2021). از نظر مقدار تولید سیب‌زمینی، ایران رتبه سیزدهم را در میان کشورهای تولید کننده این محصول در جهان به خود اختصاص داده است. با توجه به اهمیت تولید سیب‌زمینی در کشور، نقش راهبردی آن درتامین امنیت غذایی و نیاز به بذر آن موجب شده است که در سال‌های اخیر اقداماتی برای تولید و تکثیر ریزغده با تکیه بر توانمندی‌ها و قابلیت‌های داخلی انجام شود. ریزغده سیب‌زمینی به عنوان هسته اولیه بذری نقش مهمی در چرخه تولید بذر سیب زمینی کشور دارد.

تولید ریزغده در نقاط مختلف دنیا به عنوان پل ارتباطی بین تکثیر سریع گیاهچه‌های درون شیشه‌ای و تکثیر مزرعه‌ای غده‌های بذری مطرح است (Struik, *et al.* 2006). از روش‌های کشت در بستر جامد، کشت در آب (Hydroponic) و کشت در هوا (Aeroponic) می‌توان جهت تولید ریزغده استفاده نمود. تولید ریز غده به روش هواکشت از پیشرفته‌ترین روش‌ها جهت تولید ریزغده می‌باشد که در واقع فرآیندی از رشد گیاه در محیطی از مه بدون استفاده از خاک یا هر بستر دیگری است. سامانه هواکشت یکی از فناوری های جدید برای افزایش سرعت رشد گیاه و تولید بیشتر فرآورده‌های گیاهی محسوب می‌شود (CIP, 2010). کنگ و هان (Kang and Han, 2005) استفاده از سامانه هواکشت را به عنوان روشی برای تولید سیب‌زمینی عاری از ویروس یاد کردند. نوگالیاد و همکاران (Nugaliyadde, *et al.*, 2005) بیان داشتند که سامانه هواکشت برای تولید بذر پیش پایه (Pre-Basic) سیب‌زمینی مناسب می‌باشد و طول استولون ها و تعداد ریزغده در این روش افزایش می‌یابد.

نتایج بررسی ریتر و همکاران (Ritter *et al.*, 2001) نشان داد که افزایش عملکرد ریزغده‌های تولیدی در سامانه هواکشت در مقایسه با کشت هیدروپونیک ۷۰ درصد بیشتر بود. تعداد غده‌های تولیدی در سامانه هواکشت افزایش ۲/۵ برابری داشت و وزن ریزغده ۳۳ درصد کاهش یافت. کنگ و هان (Kang and Han, 2005)، نوگالیاد و همکاران (Nugaliyadde *et al.*, 2005)، فاران و ماینگو- کاستل (Farran and Mingo-Castel, 2006) و حسن‌پناه (Hassanpanah, 2011) نیز استفاده از سامانه هواکشت درجهت تولید ریزغده سیب‌زمینی را موفقیت‌آمیز خواندند.

احمد و همکاران (Ahmad, *et al.*, 1995) تاثیر اندازه گیاهچه‌های عاری از ویروس درون شیشه‌ای و قلمه‌های چند گره‌ای و تک گره‌ای را بر تولید ریزغده مورد بررسی قرار دانند و اظهار داشتند که گیاهچه‌های ریشه‌دار و

قلمه‌های چند گره‌ای در مقایسه با قلمه‌های تک گره ریزغده‌های بزرگتری تولید کردند. روستا و همکاران (Rossta, *et al.*, 2011) تاثیر سه محلول غذایی [(محلول چنگ و همکاران(Cheng *et al.*, 2008)، APCoAB و محلول هیدروپونیک تجاری اصفهان)] را بر روی سه رقم سیب‌زمینی مارفونا، سانتانا و بورن مورد بررسی قرار دانـد و اظهار داشتند که سامانه هواکشت از نظر تولید ریزغده نسبت به سامانه هیدروپونیک کلاسیک برتری داشت. رقم مارفونا به عنوان بهترین رقم و محلول‌های APCoAB و چنگ و همکاران (Cheng *et al.*, 2008) به ترتیب مناسبترین محلول غذایی برای تولید ریزغده سیب زمینی در سامانه هوا کشت معرفی شدند.

غسان و همکاران (Ghassan, *et al.*, 2001) اعلام داشتند که عوامل مختلف از جمله رقم، سن فیزیولوژیک گیاهچه و بذر، رطوبت، کیفیت نور، دوره نوری، دما، میزان مواد غذایی محیط، تامین کربوهیدرات و نیتروژن و تنظیم کننده‌های رشد و شدت ابتلا به بیماری‌های گیاهی از جمله عواملی هستند که به طور عمده کمیت و کیفیت ریزغده را در سامانه‌های مختلف کشت تحت تاثیر قرار می‌دهند.

در این پژوهش، اثر ژنوتیپ، سن گیاهچه و برهمکنش آنها بر عملکرد و اجزای عملکرد ریزغده‌های سیب زمینی و برخی خصوصیات مورفولوژیکی دوکلون ها و دو رقم سیب زمینی در شرایط سامانه هوا کشت بررسی و بهترین سن انتقال گیاهچه به سامانه هواکشت برای هر کلونی و رقم تعیین شد.

مواد و روش‌ها

در این آزمایش دو کلون امیدبخش ۲-۳۹۷۰۹۷ و ۱-۳۹۷۰۸۱ و دو رقم آگریا و Caesar به روش کشت مریستم سالم سازی و سپس قلمه‌های تک جوانه در شرایط درون شیشه‌ای و محیط کشت موراشیگ و اسکوگ (Murashige and Skoog, 1962) تکثیر شدند. برای رشد و نگهداری گیاهچه‌ها از اتاقک رشد با طول دوره روشنایی ۲۴ ساعت نور با شدت ۵۰۰۰ لوکس، دمای۲۲-۱۸ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۵-۶۵ درصد استفاده شد.

گلخانه تحقیقاتی محل آزمایش شامل سامانه الکتریکی، لوله‌کشی زیرزمینی، کف سیمانی، سقف و درب‌ها مجهز به حفاظ برای جلوگیری از ورود حشرات به داخل گلخانه و به ارتفاع سه متر بود. ارتفاع جعبه‌های کشت یک متر با طول و عرض ۱/۲ متر و جنس آن از پلاستیک بود. دمای محیط رشد و محلول غذایی به ترتیب ۲۲ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد بود و از تکه‌های یخ در ظروف پلاستیکی برای کنترل و پایین نگه‌داشتن دمای محلول غذایی استفاده شد. محلول غذایی به صورت مه‌پاش هر ۱۵ دقیقه به مدت ۱۵ ثانیه دراختیار ریشه‌ها قرار داده می‌شد. اسیدیته محلول‌های غذایی مورد مطالعه و آب تصفیه شده به ترتیب ۷/۰۵ و ۷ بود و هدایت الکتریکی آنها به ترتیب

۱/۱۰ و ۱/۱۷ دسی‌زیمنس بر متر بود.

این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی شرکت بهپرور سبلان اردبیل اجرا شد. عامل اول در چهار سطح شامل کلون‌های امیدبخش ۲-۳۹۷۰۹۷ و ۱-۳۹۷۰۸۱ و دو رقم آگریا و Caesar و عامل دوم شامل سن گیاهچه در سه سطح ۳۰، ۴۰ و ۵۰ روزه بود. در هر واحد آزمایشی ۱۰ بوته با فاصله ۲۵ × ۲۰ کشت شدند. گیاهچه‌های تولید شده در شرایط کشت درون شیشه‌ای در زمان‌های پیش‌بینی شده به گلخانه تطابق‌پذیری منتقل و سپس در محیط هواکشت بر روی جعبه نشا کشت شدند.

محلول غذایی (جدول ۱) توسط پمپاژ و به صورت مه‌پاشی در اختیار ریشه گیاه قرار گرفت. دو تا سه هفته پس از انتقال گیاهچه‌ها به محیط هواکشت قیم گذاری انجام شد. برگ‌های پایینی یک ماه پس از انتقال با رعایت اصول بهداشتی حذف شدند. به دلیل جلوگیری از عدم تشکیل استولون‌ها در قسمت‌های بالایی ریشه و روی فوم، مرحله فرو بردن گیاه به زیر فوم که بسیار مهم و مشابه خاک‌دهی پای بوته در مزرعه است انجام شد. زمانی که اندازه ریزغده‌ها به ۸-۷ گرم رسید، برداشت با رعایت اصول بهداشتی، جلوگیری از ورود نور به داخل جعبه‌های کشت و هنگام صبح انجام شد.

جدول۱- ترکیبات محلول غذایی مورد استفاده در این پژوهش(Lommen and Struik, 1992)

Table 1. Nutrient solution compounds used in this research (Lommen and Struik, 1992)

آهن کلات شده با EDTA FeEDTA	ترا هیدرات نیترات کلسیم Ca $(NO_3)_2.4H_2O$	نیترات پتاسیم KNO_3	فسفات مونوپتاسیم KH_2PO_4	سولفات پتاسیم K_2SO_4	هپتا هیدرات سولفات منیزیم $MgSO_4.7H_20$	اسید سولفوریک H_2SO_4
		گرم در لیتر	g L^{-1}			
0.035	0.890	0.446	0.135	0.140	0.472	0.034

ادامه جدول ۱-

Table 1. Continued.

مونوهیدرات سولفات منگنز $MnSO_4. H_2O$	بوریک اسید H_3BO_3	هپتا هیدرات سولفات روی $ZnSO_4.7H_20$	دی هیدرات مولیبدات سدیم $Na_2MoO_4.2H_20$	پنتا هیدرات سولفات مس $CuSO_4.5H_20$	اسیدیته pH
		میلی گرم در لیتر mgL^{-1}			
2.0	3.0	0.5	0.1	0.1	6.0

در طول دوره رشد از قارچ‌کش کلرور مس ۳۵ درصد پودر مرطوب شونده به میزان سه درهزار در چهار نوبت، سم کلروتالونیل ۷۵ درصد پودر مرطوب شونده به میزان دو کیلوگرم در هکتار در یک نوبت و آوانت به میزان سه درهزار در یک نوبت استفاده شد. واکنش محلول و آب تصفیه شده به ترتیب ۷/۰۵ و ۷ و هدایت الکتریکی آنها به ترتیب ۱/۱۰ و ۱/۱۷ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر بود.

در طول دوره رشد (۱۰۰ روز) ۱۰ بار

برداشت انجام شد. بعد از هر برداشت، ریزغده‌ها با محلول هیپوکلریت سدیم ۰/۱ درصد و به دنبال آن یک یا دو بار با آب مقطر شسته شدند. در طول دوره رشد و بعد از برداشت صفات ارتفاع بوته، تعداد ساقه اصلی در بوته، تعداد و وزن ریزغده در بوته و در مترمربع، میانگین وزن ریزغده اندازه‌گیری و یادداشت‌برداری شدند. برای افزایش انبارمانی، ریزغده‌ها ابتدا در داخل خاک ضدعفونی شدند و با رطوبت خیلی جزیی به مدت سه هفته در درجه حرارت ۱۸-۱۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری و سپس به سردخانه منتقل شدند.

تجزیه واریانس داده‌های حاصل از اندازه‌گیری صفات مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.4 انجام شد. میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند. تجزیه رگرسیون به روش گام به گام پیش رونده برای متغیر وابسته تعداد ریزغده در مترمربع و متغیرهای مستقل وزن ریزغده در بوته، میانگین وزن ریزغده، ارتفاع بوته و تعداد ساقه اصلی در بوته انجام و نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس داده ها نشان داد که ژنوتیپ‌های برای صفات مورد مطالعه، بجز ارتفاع بوته، مورد بررسی در اکثر صفات تفاوت معنی‌داری نداشتند. تفاوت ژنوتیپ ها برای ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۲). به نظر می‌رسد اثر جبرانی ژنوتیپ‌ها در سنین مختلف (تفاوت بین عملکرد و اجزای عملکرد ریزغده برای سنین مختلف گیاهچه) و در نتیجه استفاده از داده‌های کلی باعث شد تا تفاوت معنی‌داری بین اثر اصلی ژنوتیپ مشاهده نشود. برهمکنش ژنوتیپ × سن گیاهچه بر اکثر صفات مورد بررسی، بجز میانگین وزن ریزغده و ارتفاع بوته، معنی دار بود (جدول ۲). نتایج همچنین نشان داد که سن گیاهچه اثر معنی‌داری بر روی اکثر صفات داشت که خود بیانگر اهمیت سن گیاهچه در تولید ریزغده در شرایط هواکشت می‌باشد.

حسن‌پناه (Hassanpanah, 2013) اثر محلول‌های غذایی بر روی ژنوتیپ‌های مختلف سیب‌زمینی در سامانه هواکشت را مورد بررسی قرار داد و بیان داشت که بین محلول‌های غذایی، ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی و برهمکنش آنها از نظر تعداد و وزن ریزغده در مترمربع، میانگین وزن ریزغده، ارتفاع بوته و تعداد ساقه اصلی در بوته تفاوت معنی‌دار وجود داشت. با توجه به نتایج این پژوهشگر و پژوهش حاضر می‌توان بیان داشت که برای تولید اقتصادی ریزغده در شرایط هواکشت، توجه به سن گیاهچه و محلول غذایی مناسب ضروری می‌باشد.

مقایسه میانگین برهمکنش ژنوتیپ × سن گیاهچه برای تعداد ریزغده در بوته نشان داد که کلون ۱-۳۹۷۰۸۱ با سن گیاهچه ۳۰ روزه بیشترین تعداد ریزغده در بوته (میانگین ۵۷/۳۳ ریزغده) را تولید کرد (جدول ۳). برای رقم

جدول ۲- تجزیه واریانس برای صفات زراعی، عملکرد و اجزای عملکرد ریزغده های سیب‌زمینی در سامانه هواکشت

Table 2. Analysis of variance for agronomic traits, yield and yield components of potato minitubers in aeroponic system

			Mean squares میانگین مربعات			
S. O. V.	منبع تغییرات	درجه آزادی d.f.	وزن ریزغده در مترمربع Minituber weight m^{-2}	وزن ریزغده در بوته Minituber weight $plant^{-1}$	تعداد ریزغده در مترمربع Minituber no. m^{-2}	تعداد ریزغده در بوته Minituber no. $plant^{-1}$
Genotype (G)	ژنوتیپ	3	905056.15	1448 .00	27303.7 0	43.30
Plantlet age (PA)	سن گیاهچه	2	2607108.11	4170.10	115423.53**	184.88**
G × PA	ژنوتیپ × سن گیاهچه	6	3969734.48**	6350.84**	46243.68*	74.07*
Error	اشتباه	24	842669.14	1347.97	12926.36	20.69
C.V. (%)	درصد ضریب تغییرات	–	10.48	10.47	9.53	9.52

Table 2. Continued

ادامه جدول ۲

			Mean squares میانگین مربعات		
S. O. V.	منبع تغییرات	درجه آزادی d.f.	تعداد ساقه در بوته Stem no. $plant^{-1}$	ارتفاع بوته Plant height	وزن تک ریزغده Single minituber weight
Genotype (G)	ژنوتیپ	3	0.32	1144.99**	0.21
Seedling age (PA)	سن گیاهچه	2	1.19 **	301.00	0.78
G × PA	سن گیاهچه × ژنوتیپ	6	0.6 *	254.52	0.47
Error	اشتباه	24	0.17	202.03	0.52
C.V. (%)	درصد ضریب تغییرات	–			

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین برای صفات ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی در روش هواکشت

Table 3. Mean comparison for different traits of potato genotypes in aeroponic system

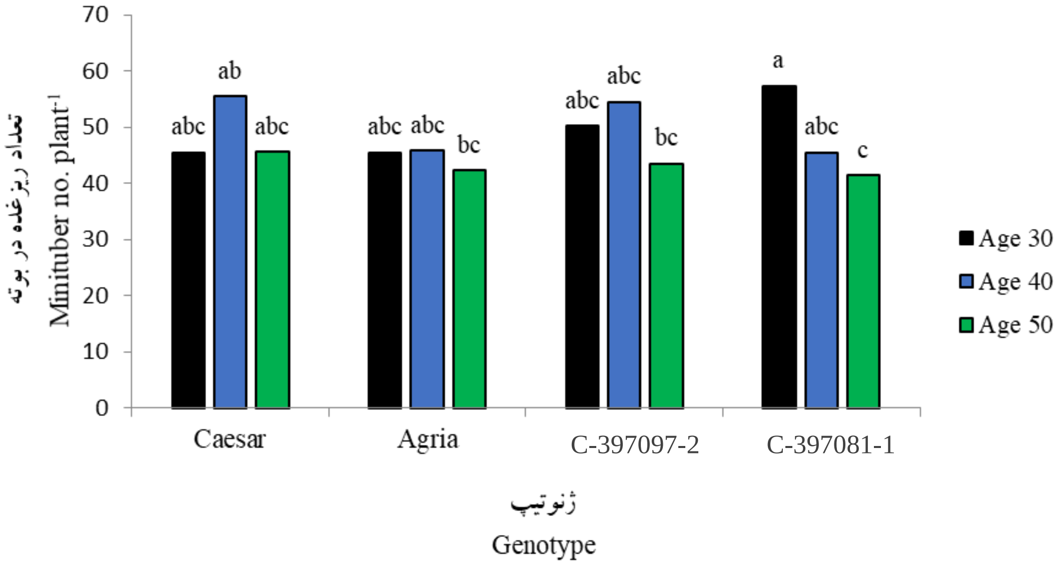
Clone/cultivar	تعداد ریزغده در بوته Minituber no. plant^{-1}	تعداد ریزغده در متر مربع Minituber no. m^{-2}	وزن ریزغده (گرم در بوته) Minituber weight (g plant^{-1})	وزن ریزغده (کیلوگرم در متر مربع) Minituber weight (kg m^{-2})	وزن تک ریزغده (گرم) Single minituber weight (g)	ارتفاع بوته (سانتی متر) Plant height (cm)	تعداد ساقه در بوته Stem no. plant^{-1}
C-397097-2	49.4	1358	351.5	8.95	7.14	122.0 b	1.8
Caesar	48.8	1335	361.9	9.05	7.38	146.2 a	2.2
C-397081-1	48.1	1318	355.9	9.01	7.45	144.4 a	2.0
Agria	44.5	1147	332.5	8.38	7.46	142.3 a	1.7

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک می باشند بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level using Tukey's Test.

Caesar و کلـون ۲-۳۹۷۰۹۷ مناسـبترین سـن گیاهچـه جهـت انتقـال بـه سـامانه هواکشـت ۴۰ روزه بود و ژنوتیـپ‌هـای مـورد بحث و بـه طور میانگین به ترتیب ۵۵/۵۷ و ۵۴/۵۳ ریزغـده در بوتـــه تولیـــد کردنـــد (جـــدول ۳). از نظر تعداد ریزغده تولیدی سنین گیاهچه بین ۳۰ و ۴۰ روزه بـــرای کلـــون ۲-۳۹۷۰۹۷ تفـــاوت معنـی‌دار وجـود نداشـت (شـکل ۱) و در نتیجـه درصورت گسترده بودن فعالیت، انتقال گیاهچـه به سامانه هواکشت می‌تواند از سن ۳۰ روز آغاز شـود. بهتـرین سـن انتقـال گیاهچـه بـه سـامانه هواکشت برای رقـم آگریـا ۴۰ روز بـا میـانگین ۴۵/۷۷ ریز غده بود (شکل ۱). تفاوت بین سـنین مختلف گیاهچه برای رقم آگریا معنـی‌دار نبـود. این بدان معنی است که واکنش این رقـم نسـبت سن گیاهچه در مقایسه با سایر ژنوتیپ هـا کمتـر بود (شکل ۱). برای کوتاه‌تر شـدن مـدت زمـان تولید ریزغده و در نتیجه کـاهش هزینـه‌هـا سـن گیاهچـه ۳۰ و ۴۰ روز بـرای ایـن رقـم مناسـب است. در مجموع با توجه به نتایج بدسـت آمـده به نظر می‌رسد سـن گیاهچـه بـین ۳۰ تـا ۴۰ روز بـرای ژنوتیـپ‌هـای سـیب‌زمینی مـورد مطالعـه مناسب باشد.

والـــورف و همکـــاران (Walworth *et al.,* 2002) گـزارش کردنـد کـه تعـداد ریزغـده در بوتـه بـه ژنوتیـپ گیـاه،



شکل ۱- مقایسه میانگین برهمکنش ژنوتیپ × سن گیاهچه بـرای تعـداد ریزغـده در بوتـه ژنوتیـپ‌هـای سیب‌زمینی. میانگین های (ستون های) دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی دار ندارند

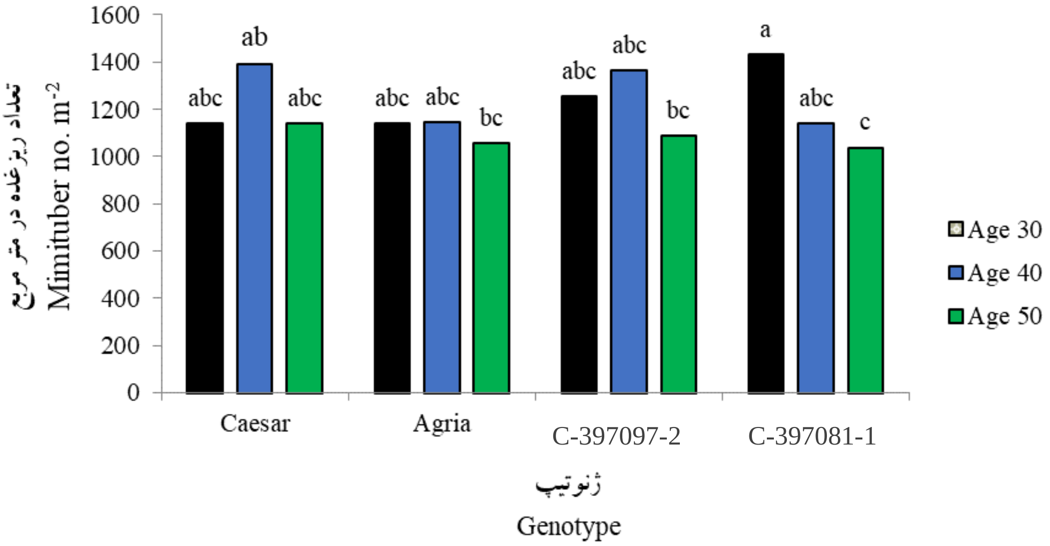
Fig. 1. Mean comparison of genotype × plantlet age interaction for number of minituber plant^{-1} of potato genotypes. Means (Columns) with at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level using Tukey's Test

دمـا و نـور بسـتگی داشـت. حسـن پنـاه (Hassanpanah, 2012) بیان داشت که واکنش ارقام سیب‌زمینی برای تعداد ریزغده در بوتـه در پـژوهش، تعـداد ریزغـده در بوتـه کلـون هـای ۲-۳۹۷۰۹۷، Caesar و ۱ -۳۹۷۰۸۱ بـه طـور سامانه هواکشت متفاوت بود. براساس نتایج ایـن میـانگین ۵۰ ریزغـده و بیشـتر از روش معمـولی (بستر خاکی) بود و برای رقم آگریـا ایـن میـزان ۴۰ ریزغده بود. میانگین تعداد ریزغـده تولیـدی رقـم آگریـا در کشـور، در گلخانـه و در بسـتر خـاکی حـدود سـه ریزغـده در بوتـه می‌باشـد (Hassanpanah, 2011). تعـداد ریزغـده تولیدی در هر بوته با تعداد دفعات برداشت طـی فصـل تولیـد (Lommen and Struik, 1992)، تـراکم کاشـت در بسـتر گلخانـه‌ای (Jones, 1988)، آب‌کشـت (Muro *et al.*,1997; Rolot and Seutin, 1999) یـا هواکشـت (Kang and Han, 2005; Nugaliyadde *et al.*, 2005; Farran and Mingo-Castel, 2006; Hassanpanah, 2011) رابطه مستقیم دارد.

نائیـک (Naik, 2005) گیاهچـه‌هـای ارقـام سـیب زمینـی بـا سـن ۱۵ تـا ۲۰ روزه را در گلخانه مورد بررسـی قـرار داد و نتیجـه گرفـت کـه ۸۰ تـا ۹۰ درصـد گیاهچـه‌هـا مسـتقر شـدند و حـدود ۸ تـا ۱۲ ریـز غـده بـا ۱۰ تـا ۱۵ گـرم وزن در هر بوته تولیـد شـد. در پـژوهش حاضـر تمامی گیاهچـه‌هـای انتقـالی بـه گلخانـه سـامانه هواکشت مستقر شدند و درصد تلفات صفر بود. بنابراین به نظر می رسـد از نظـر درصـد اسـتقرار گیاهچـه و در نتیجـه کـاهش تلفـات، سـامانه هواکشـت نسـبت بـه روش معمـول گلخانـه‌ای برتری دارد.

مقایسه میـانگین بـرهمکنش ژنوتیـپ × سـن گیاهچه برای تعـداد ریزغـده در مترمربـع مشـابه تعداد ریزغده در بوته بود. در نتیجه سن مناسـب گیاهچه توصیه شده برای تعداد ریزغده در بوتـه برای تعداد ریزغده در متر مربع نیز صادق است. بیشترین تعداد ریزغده تولیـد شـده بـرای کلـون ۱-۳۹۷۰۸۱، رقـم Caesar، کلـون ۲-۳۹۷۰۹۷ و رقـم آگریـا بـه ترتیـب ۱۴۳۲/۷، ۱۳۶۳/۳۳، ۱۳۹۰و ۱۱۴۳/۶۷ریزغـده در مترمربـع بـود (شکل۲). لازم به ذکـر اسـت در تولیـد ریزغـده تعـداد ریزغـده نسـبت بـه عملکـرد بـه دلیـل فـروش براسـاس تعـداد از اهمیـت ویـژه‌ای برخـوردار اسـت. بنـابراین شـرایطی کـه باعـث تولید تعداد بیشتر ریزغده در واحـد سـطح شـود از نظـر اقتصـادی از اهمیـت بـالایی برخـوردار است.

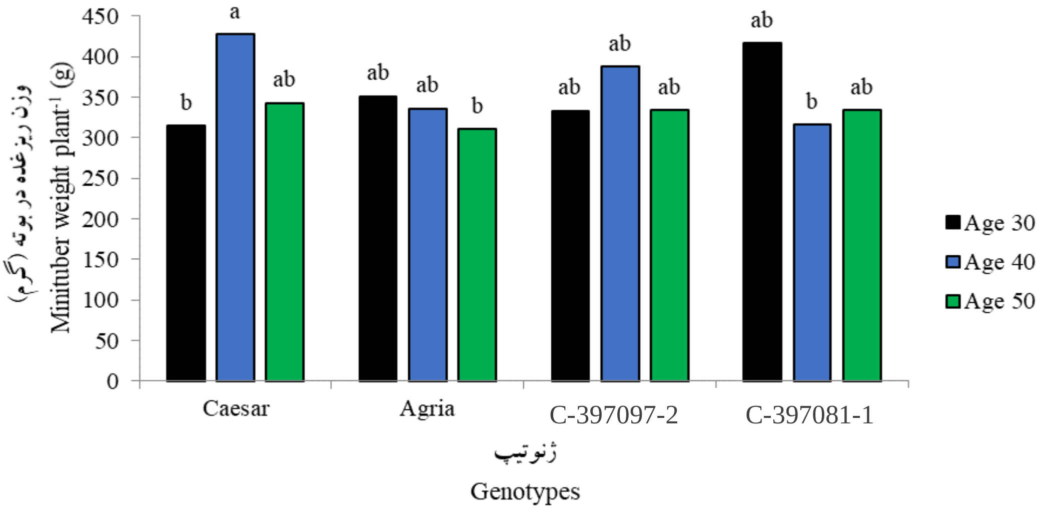
از دیگر عوامل تاثیرگذار در تولید اقتصـادی ریزغده اندازه آن می‌باشد. ریزغده‌های بزرگتـر از قیمـت بـالاتری در مقایسـه بـا ریزغـده‌هـای کوچک برخوردارند. در نتیجه سامانه هواکشت علاوه بر تعداد ریزغده تولیـدی بـه دلیـل امکـان برداشت گزینشی (برداشت ریزغده‌ها در انـدازه مناسب) و دادن زمان بـه ریزغـده‌هـای کوچـک



شکل ۲- مقایسه میانگین برهمکنش ژنتیپ × سن گیاهچه برای تعداد ریزغده در متر مربع ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی. میانگین های (ستون های) دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی دار ندارند

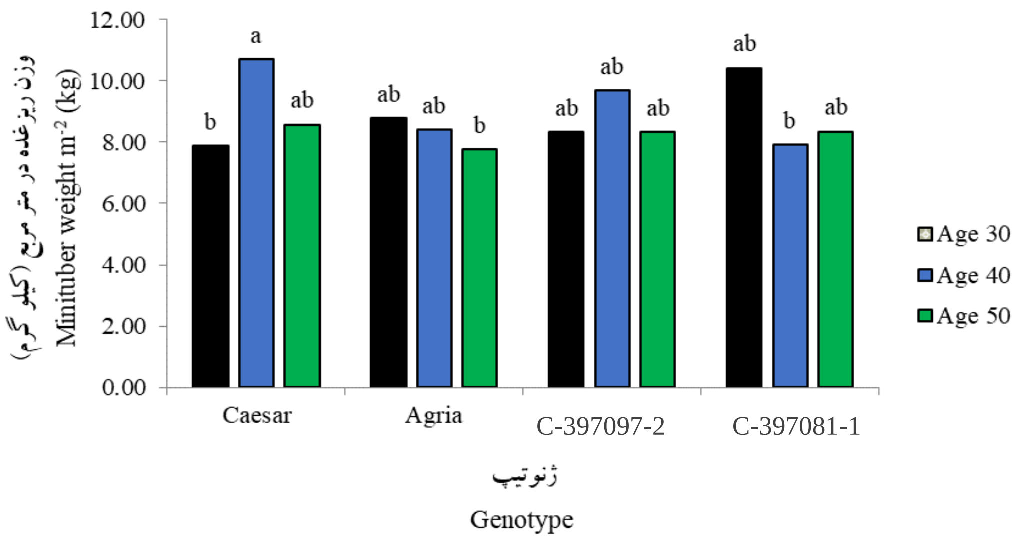
Fig. 2. Mean comparison of genotype × plantlet age interaction for minituber no. m^{-2} for potato genotypes. Means (Columns) with at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level using Tukey's Test

جهت رشد، در مقایسه با روش‌های معمولی کشت گلخانه‌ای برتری دارد. مقایسه میانگین برهمکنش ژنوتیپ × سن گیاهچه برای وزن ریزغده در بوته و در متر مربع نشان داد که ترتیب گروهبندی برای هر دو صفت تا حد زیادی مشابه بود (شکل ۳). با توجه به اینکه وزن ریزغده در بوته بیشترین همبستگی را با عملکرد در واحد سطح دارد (Gorji and Zarbakhsh, 2006) حصول چنین نتیجه‌ای دور از انتظار نبود. برای کلون‌های ۱-۳۹۷۰۸۱ و ۲-۳۹۷۰۹۷ گیاهچه‌های با سن ۴۰ روزه بیشترین وزن ریزغده در بوته (به ترتیب ۴۲۷/۹۳ و ۳۸۷/۶۳ گرم در بوته) و در واحد سطح (به ترتیب ۱۰/۷ و ۹/۷ کیلوگرم در مترمربع) بود (شکل ۳ و ۴). بهترین زمان انتقال گیاهچه به سامانه هواکشت برای دستیابی به وزن ریزغده بالاتر برای ارقام Caesar و آگریا، ۳۰ روز پس از واکشت بود. وزن ریزغده تولیدی برای هر یک از دو رقم آنها به ترتیب ۴۱۶/۹۳ و ۳۵۱/۱ گرم در بوته و ۱۰/۴ و ۸/۸ کیلوگرم در متر مربع بود (شکل ۳ و ۴).



شکل ۳- مقایسه میانگین برهمکنش ژنتیپ × سن گیاهچه برای وزن ریزغده در بوته ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی. میانگین های (ستون های) دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی دار ندارند

Fig. 3. Mean comparison of genotype × plantlet age interaction for minituber weight plant^{-1} for potato genotypes. Means (Columns) with at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level using Tukey's Test

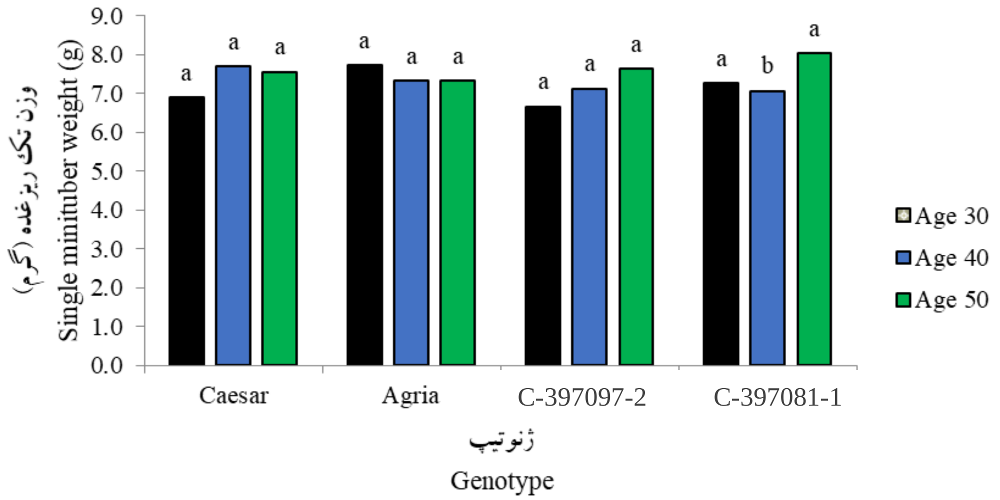


شکل ۴- مقایسه میانگین برهمکنش ژنتیپ × سن گیاهچه برای وزن ریزغده در متر مربع ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی. میانگین های (ستون های) دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی دار ندارند

Fig. 4. Mean comparison of genotype × plantlet age interaction for minituber weigh m^{-2} for potato genotypes Means (Columns) with at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level using Tukey's Test

مقایسه میانگین برهمکنش ژنوتیپ × سن گیاهچه برای میانگین وزن تک ریزغده نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین اکثر ژنوتیپ‌های سیب زمینی در سنین مختلف وجود نداشت (شکل ۵). با توجه به اینکه در پژوهش حاضر سعی بر این بود که ریزغده‌ها در اندازه‌های یکسان برداشت شوند، حصول چنین نتیجه‌ای منطقی و قابل انتظار بود.

در پژوهش حاضر، تعداد ریزغده در بوته و در واحد سطح در اولین مرحله برداشت کمتر و وزن آن بیشتر بود و در آخرین برداشت (بعد از ۱۰۰ روز) تعداد ریزغده در بوته و واحد سطح افزایش و وزن کاهش یافت. افزایش تعداد ریزغده در سامانه هواکشت را می‌توان به تشکیل استولون‌های جدید ناشی از برداشت متوالی ریزغده‌ها نسبت داد.



شکل ۵- مقایسه میانگین برهمکنش ژنوتیپ × سن گیاهچه برای وزن تک ریزغده ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی. میانگین های (ستون های) دارای حرف مشابه بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی دار ندارند

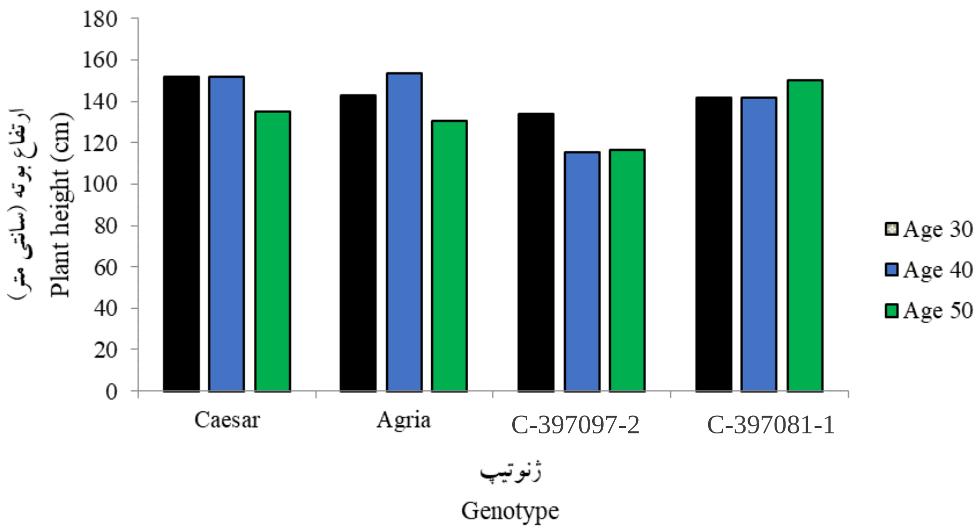
Fig. 5. Mean comparison of genotype × plantlet age interaction for single minituber weight for potato genotypes. Means (Columns) with similar letter are not significantly different at the 5% probability level using Tukey's Test

حسن‌پناه (Hassanpanah, 2013) نشان داد که در سامانه هواکشت بین ژنوتیپ‌های مختلف سیب‌زمینی از لحاظ عملکرد اختلاف معنی‌دار وجود دارد و کلون متوسط دیررس ۱-۳۹۷۹۸۱ از بالاترین عملکرد ریزغده در مترمربع برخوردار بود. ریتر و همکاران (Ritter *et al.*, 2001) بیان داشتند که در سامانه هواکشت تعداد و وزن ریزغده‌ها افزایش می‌یابد و میزان آن را در مقایسه با روش مرسوم گلخانه‌ای به ترتیب ۱۵۳ و ۷۰ درصد گزارش نمودند.

حسن‌پناه (Hassanpanah, 2011) افزایش تعداد و وزن ریزغده در مترمربع در سامانه هواکشت نسبت به روش معمولی را به ترتیب ۱۱۰ (۴۹۳ ریزغده) و ۳۸ درصد (۱۲۴۰ گرم) گزارش کردند. نوگالیده و همکاران Nugaliyadde *et al.*, 2005) نتیجه گرفتند تعداد و عملکرد ریزغده تولیدی در بوته در سامانه هواکشت در مقایسه با روش‌های معمول گلخانه‌ای بیشتر می باشد و این سامانه برای تولید بذر پیش پایه سیب-زمینی مناسب می‌باشد. افزایش وزن ریزغده در سامانه هواکشت در مقایسه با کشت معمولی توسط سایر محققان گزارش شده است Cho *et al.*,1996; Soffer and Burger, 1988; Ritter *et al.*, 2001). افزایش تعداد استولون قبلاً توسط نوگالیده و همکاران Nugaliyadde *et al.*, (2005)، ریتر و همکاران (Ritter *et al.*, 2001) و موروو و همکارن (Muro *et al.*, 1997)) گزارش شده است. لومن (Lommen, 1995) و لاگت و همکاران (Lugt *et al*,. 1964) برتری سامانه هواکشت در افزایش رشد رویشی استولون‌ها را ناشی از عدم وجود فشار مکانیکی در محیط اطراف ریشه دانستند.

نتایج بررسی مشاهده‌ای نشان داد که غده‌زایی و توسعه ریز غده‌ها با تاخیر همراه بود. تاخیر در غده‌زایی می‌تواند به دلیل نبود مقاومت مکانیکی بر روی ریشه در سامانه هواکشت باشد. نتایج تحقیقات حسن‌پناه (Hassanpanah, 2011, 2013) تایید کننده نتایج این تحقیق بود و نشان داد که در کشت معمولی ریز غده‌ها به طور میانگین ۴۰ روز زودتر از سامانه هواکشت برداشت می‌شوند. لوگت و همکاران (۱۹۶۴) بیان داشتند که عدم وجود استرس مکانیکی در محیط استولون باعث تاخیر در غده‌زایی می‌شود.تاخیر در غده‌زایی در سامانه هواکشت توسط ریتر و همکاران (Ritter *et al.*, 2001) نیز گزارش شده است. وروگدنهیل و استروئیک (Vreugdenhil and Struik, 1989) گزارش نمودند، با شروع غده‌زایی به دلیل سنتز اتیلن رشد استولون متوقف می‌شود و متعاقباً تاخیر در توسعه ریز غده مشاهده می‌شود.

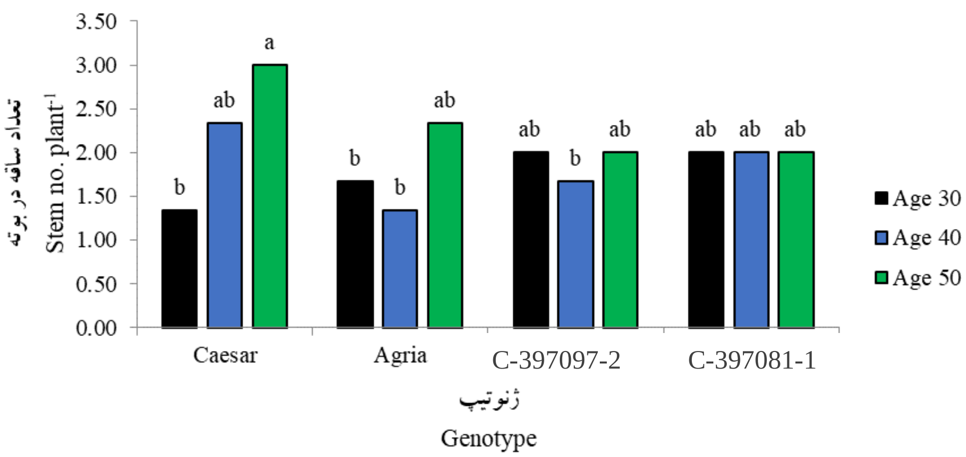
نتایج بررسی نشان داد اگرچه سن گیاهچه در هر رقم برروی ارتفاع تاثیر گذار بود و واکنش ژنوتیپ‌های مورد بررسی در سنین مختلف نیز متفاوت بود اما میزان تاثیرگذاری به گونه‌ای نبود که تفاوت مشاهده شده معنی‌دار نبود (جدول ۲ و شکل ۶). دامنه ارتفاع بوته ژنوتیپ‌های سیب زمینی بین ۱۱۵/۳۳ تا ۱۵۳/۳۳ سانتی متر متغیر بود و در مجموع رقم آگریا با سن گیاهچه ۴۰ روز در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌های سیب زمینی دارای ارتفاع بوته بیشتری بود و کلون ۲-۳۹۷۰۹۷ نیز با سن گیاهچه ۴۰ روز کوتاهترین ارتفاع بوته را به خود اختصاص داد (شکل ۶). ارتفاع بوته در سامانه هواکشت تحت تاثیر زمان استفاده مواد غذایی مور نیاز گیاه می‌باشد. ریتر و همکاران (Ritter *et al.*, 2001) و نوولا و همکاران (Novella *et al.*, 2008) اظهار داشتند جذب و متابولیسم مواد در سامانه هواکشت بسیار کارآمدتر از بستر جامد بوده و باعث افزایش کانوپی گیاهان در سامانه هواکشت می‌شود.



شکل ۶- میانگین برهمکنش ژنوتیپ × سن گیاهچه برای ارتفاع بوته ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی

Fig. 6. Mean of genotype × plantlet age interaction for plant height of potato genotypes

ارقام Caesar و آگریا با سن گیاهچه ۵۰ روزه بیشترین تعداد ساقه در بوته را تولید کردند (شکل ۷). کلون ۲-۳۹۷۰۹۷ با سن گیاهچه ۳۰ و ۵۰ روزه بیشترین تعداد ساقه در بوته را داشت و برای کلون ۱ -۳۹۷۰۸۱ تفاوت معنی داری بین سنین مختلف گیاهچه مشاهده نشد. دامنه میانگین تعداد ساقه در بوته بین ۱/۳۳ تا ۳ ساقه متغیر بود (شکل ۷).



شکل ۷- مقایسه میانگین برهمکنش ژنوتیپ × سن گیاهچه برای تعداد ساقه در بوته ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی. میانگین های (ستون های) دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی دار ندارند

Fig. 7. Mean comparison of genotype × plantlet age interaction for stem plant^{-1} for potato genotypes. Means (Columns) with at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level using Tukey's Test

به منظور بررسی روابط بین صفات تجزیه رگرسیون با ضریب تبیین برآورد شده ۹۹ درصد بسیار معنی دار انجام شد. با توجه به اهمیت تعداد ریزغده در متر مربع در تولید ریزغده این صفت به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد و متغیرهای مستقل شامل وزن ریزغده در بوته، وزن تک ریزغده، ارتفاع بوته و تعداد ساقه اصلی بودند. با توجه به معنی‌دار شدن آماره F فرض صفر رد شد و در نتیجه می‌توان بیان داشت که بین متغیر وابسته و متغیرهای مستقل رابطه وجود داشت (جدول ۴).

جدول ۴- تجزیه رگرسیون برای تعداد ریزغده در مترمربع ژنوتیپ های سیب زمینی

Table 4. Regression analysis for minituber no. m^{-2} of potato genotypes

S. O. V.	منبع تغییرات	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares	مجموع مربعات Sum of squares
Regression	رگرسیون	4	357.99**	1431.98
Residuals	باقیمانده	31	0.279	8.65
Total	کل	35		1440.63
R-squared (R^2)	ضریب تبیین	0.99**		
Durbin-Watson value	مقدار دوربین واتسون	1.82		

**: Significant at the 1% probability level.

**: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

مقدار دوربین واتسون محاسبه شده در این پژوهش ۱/۸۲ بود که خود بیانگر مستقل بودن باقیمانده‌ها، عدم خود همبستگی خطا و در نتیجه قابل قبول بودن معادله رگرسیون خطی بود. فیلزموزر و همکاران (Filzmoser *et al.*, 2005) بیان داشتند در صورت وجود خود همبستگی در خطاها نمی‌توان از رگرسیون خطی استفاده کرد مقدار دوربین واتسون بین ۱/۵ تا ۲/۵ را مناسب اعلام نمودند. معادله خط رگرسیون برآورد شده به صورت زیر است:

معادله ۱:

$$Y = ۴۷/۹۷ + ۱/۰۳۷C_{۱} - ۰/۵۹C_{۲} - ۰/۰۰۷C_{۳} + ۰/۰۱۷C_{۴}$$

در این معادله، Y تعداد ریزغده در متر مربع، $C_{۱}$ وزن ریزغده در بوته، $C_{۲}$ میانگین وزن تک ریزغده، $C_{۳}$ ارتفاع بوته، $C_{۴}$ تعداد ساقه در بوته می باشند.

با توجه به معادله برآورد شده میانگین وزن تک ریزغده و ارتفاع در جهت معکوس برروی تعداد ریزغده در متر مربع تاثیرگذار بودند، به عبارتی با افزایش تعداد ریزغده از وزن تک ریزغده کاسته شد و افزایش ارتفاع نیز تعداد ریزغده های تولیدی کاهش داد. با توجه به ناچیز بودن ضریب همبستگی برآورد شده بین تعداد ریزغده و ارتفاع بوته (۷/۳ درصد) نمی-توان درخصوص ارتباط این دو صفت اظهار نظر دقیق نمود. اما به نظر می‌رسد رابطه منبع و مخزن بر نتیجه حاصله تاثیر گذار بود. میزان حرکت مواد غذایی به سمت ریزغده‌ها در ارتفاع بوته کوتاهتر در مقایسه با ارتفاع بوته بلند تر بیشتر بود.

درباره رابطه بین تعداد ریزغده با وزن تک

ریزغده در سامانه هواکشت اطلاعات زیادی وجود ندارد و نتایج بررسی‌ها در خصوص ارتباط بین این دو صفت در شرایط گلخانه نسبت به هواکشت متفاوت بوده است. حسن‌پناه (Hassanpanah, 2013) اظهار داشت بین تعداد ریزغده در بوته با تعداد ریزغده در مترمربع، وزن ریزغده در بوته و در مترمربع رابطه مثبت و معنی‌دار وجود داشت. رحیمی و حسن‌پناه (Rahimi and Hassanpanah, 2014) نیز رابطه تعداد ریزغده در بوته با وزن ریزغده در بوته را مثبت و معنی‌دار گزارش کردند. در خصوص ضرایب همبستگی و رابطه بین صفات یادآور می‌شودکه بدون توجه به دامنه صفات و ثابت بودن سایر آثار ضرایب همبستگی چندان کاربردی نمی‌باشد و باعث می‌شود در بررسی‌های مختلف نتایج متفاوتی بدست آید. برای مثال با افزایش تعداد ریزغده تا حد مشخصی می توان انتظار داشت که میانگین وزن تک ریزغده کاهش نیابد و به طور طبیعی با زیاد شدن تعداد ریزغده از حد تعیین شده میانگین وزن ریزغده به دلیل تقسیم مواد غذایی بین تعداد بیشتر ریزغده کاهش می‌یابد.

به منظور تعیین مهم‌ترین صفات مؤثر بر تعداد ریزغده در مترمربع و توجیه بهتر روابط، از رگرسیون گام به گام پیش‌رونده استفاده شد. نتایج تجزیه رگرسیون گام به گام پیش‌رونده نشان داد وزن ریزغده در بوته و میانگین وزن تک ریزغده در ژنوتیپ‌هایسیب زمینی مورد بررسی در انتخاب برای تعداد بالای ریزغده در مترمربع از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بودند. معادله برآورد شده به شرح زیر بود:

معادله ۲:

Y = ۴۷/۶۱+ ۱/۰۴ C۱ - ۰/۵۸C۲

در این معادله C۱ و C۲ به ترتیب مربوط به وزن ریزغده در بوته و میانگین وزن تک ریزغده است. در این معادله ضریب میانگین وزن تک ریزغده منفی شد و علامت آن برای وزن ریزغده در بوته همانند معادله ۱ مثبت شد و این بدان معنی است که اگرچه میانگین وزن تک ریزغده کاهش یافت ولیکن به دلیل تعداد بیشتر ریزغده وزن ریزغده در بوته افزایش یافت.

نتایج این پژوهش نشان داد که برهمکنش ژنوتیپ× سن گیاهچه بر تعداد ریزغده در بوته، تعداد ریزغده در مترمربع، وزن ریزغده در بوته و وزن ریزغده در مترمربع معنی‌دار بود. اگرچه اکثر ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی مورد مطالعه در سن گیاهچه ۴۰ روزه مطلوب ترین واکنش را داشتند، اما رقم اگریا که بیشترین سطح زیر کشت سیب زمینس در کشور را دارد، در سن گیاهچه ۳۰ روزه بیشترین تعداد ریزغده را تولید نمود. بنابراین برای حداکثر بهره وری اقتصادی بهتر است برای هر ژنوتیپ سن گیاهچه مناسب مشخص شود.

رابطه تعداد ریزغده در بوته با تعداد ریزغده در مترمربع، وزن ریزغده در بوته و وزن ریزغده در مترمربع مثبت و معنی‌دار بود. تجزیه رگرسیون گام به گام پیش‌رونده نشان

داد تعـداد ریزغـده در بوتـه و وزن ریزغـده در بوته اهمیت ویژه‌ای در تعیین عملکرد ژنوتیپ دارنـد. بـا افـزایش تعـداد ریزغـده از وزن تـک ریزغده کاسته شد و افـزایش ارتفـاع نیـز باعـث کاهش تعداد ریزغده های تولیدی شد. بنـابراین با توجـه بـه اهـداف تولیـد ریزغـده و پـایین تـر بودن قیمت ریزغده‌های کوچکتر در مقایسـه بـا ریزغده های بزرگتر، می‌توان بـا مـدیریت زمـان برداشت که نقش مستقیم در اندازه ریزغده دارد و یا حذف تعدادی از ریزغده هـا بـه بهـره وری اقتصادی بیشتر دست یافت.

سپاسگزاری

نگارنـدگان بدینوسـیله از مـدیریت شـرکت بهپرور سبلان اردبیل، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل و موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر برای حمایت مالی و در اختیار قرار دادن برخی از مواد گیاهی مـورد اسـتفاده و امکانـات مـورد نیـاز بـرای انجـام ایـن پـژوهش سپاسگزاری می‌کنند.

References

Ahmad, A., Alam, S. M. M., Souza-Machado, V., and Ali, A. 1995. Potato mini-tuber production from nodal cutting compared to whole *in vitro* plantlets using low volume media in a greenhouse. Potato Research 38: 69-76. DOI: 10.1007/BF02358071.

Chang, D. C., Park, C. S., Kim, S.Y., Kim S. J., and. Lee, Y. B. 2008. Physiological growth responses by nutrient in aeroponically grown potatoes. American Journal of Potato Research 85: 315-323.

Cho, Y. D., Kang, S. G., Kim, Y. D., Shin, G. H., and Kim, K. T. 1996. Effects of culture systems on growth and yield of cherry tomatoes in hydroponics. Journal of Agriculture Science 38: 563-567.

CIP. 2010. International Potato Center. Lima, Peru. at http://www.cipotato.org/potato/potato.htm.

FAO. 2021. FAOSTAT. Statistic division. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. https://www.fao.org/faostat/.

Farran, I., and Mingo-Castel, A. M. 2006. Potato mini-tuber production using aeroponics: Effect of plant density and harvesting intervals. American Journal of Potato Research 83 (1): 47-53. DOI: 10.1007/BF02869609.

Filzmoser, P., Garrett, R. G., and Reimann, C. 2005. Multivariate outlier detection in exploration geochemistry. Computers and Geosciences 31: 579-587. DOI: 10.1016/j.cageo. 2004.11.013.

Ghassan, A. S., Sully, R., and Hopkinson, H. 2001. Ways to increase tuber number.

South Australian Research and Development Institute. 160 pp.

Gorji, M. A., and Zarbakhsh, A. J. 2006. Determination of correlation and heritability of quantitative and quality traits of potato. The 9th Genetics Congress of Iran. 20-22 May 2006. Tehran, Iran.

Hassanpanah, D. 2013. Evaluation the potential production of minitubers of potato varieties and advanced clones (medium late maturity) under aeroponic conditions. Ecophysiology of Crop Plants 31 (8): 331-346 (in Persian).

Hassanpanah, D. 2012. Instructions of high quality seed potato production through aeroponic system. Mohaghegh Ardabili Publication. 80 pp. (in Persian)

Hassanpanah, D. 2011. Study of possibility of mini- tuber production in aeroponic system compared with conventional cultivation systems. International Journal of Modern Agriculture 7 (2): 1-10.

Jones, E. D. 1988. A current assessment of *in vitro* culture and other rapid multiplication methods in North America and Europe. American Journal of Potato Research 65: 209-220. DOI: 10. 1007/BF02854453.

Kang, B. K., and Han, S. H. 2005. Production of seed potato (*Solanum tuberosum* L.) under the recycling capillary culture system using controlled release fertilizers. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science 74 (4): 295-299. DOI: 10.2503/jjshs.74.295.

Lommen, W. J. M. 1995. Basic studies on the production and performance of potato mini-tubers. Ph. D. thesis. Wageningen Agriculture University. Wageningen, The Netherlands. 181 pp.

Lommen, W. J. M., and Struik, P. C. 1992. Production of potato minitubers by repeated harvesting: Effects of crop husbandry on yield parameters. Potato Research 35: 419-432. DOI: 10.1007/BF02357598.

Lugt, C., Bodlaender, K. B. A., and Goodijk, G. 1964. Observation on the induction of second growth in potato tubers. European Potato Journal 4: 219-227. DOI: 10.1007/BF02368253.

Murashige, T., and Skoog, F. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. Physiologia Plantarum 15:473–497. DOI: 10.1111/j.1399-3054. 1962.tb08052.x

Muro, J., Diaz, V., Goni, J. L., and Lamsfus, C. 1997. Comparison of hydroponic culture and culture in a peat/sand mixture and the influence of nutrient solution and

plant density on seed potato yield. Potato Research 40: 431-438. DOI: 10.1007/BF02358003

Naik, P. S. 2005. Achieving self sufficiency in quality seed production in roots and tuber crops with special reference to potato. pp. 243-255. In: Chadha, K. L., Ahloowalia, B. S., Prasad, K. V., and Singh, S. K. (eds.) Crop improvement and production technology of horticultural crops. The Horticulture Society of India. New Dehli.

Novella, M. B., Andriolo, J. L., Bisognin, D. A., Cogo, C. M., and Bandinelli., M. G. 2008. Concentration of nutrient solution in the hydroponic production of potato mini-tubers. Ciência Rural 38(6): 1529-1533. DOI: 10.1590/S0103-84782008000600006

Nugaliyadde, M. M., De Silva, H. D. M., Perera, R., Ariyaratna, D., and Sangakkara, U. R. 2005. An aeroponic system for the production of pre-basic seeds of potato. Annals of Sri Lanka Department of Agriculture 7: 199-208.

Rahimi, G., and Hassanpanah, D. 2014. Effects of different planting density on the production potential of mini-tubers from the Agria potato mico-tubers. Indian Journal of Fundamental and Applied Life Science 4 (1): 303-307. http://www.cibtech.org/jls.htm.

Ritter, E., Angulo, B., Riga, P., Herran, C., Relloso, J., and Sanjose, M. 2001. Comparison of hydroponic and aeroponic cultivation systems for the production of potato mini-tubers. Potato Research 44: 127-135. DOI: 10.1007/BF02410099.

Rolot, J. L., and Seutin, H. 1999. Soilless production of potato minitubers using hydroponic technique. Potato Research 42: 457-469. DOI: 10.1007/BF02358162.

Roosta, H. R., Rashidi, M., Karimi, H. R., Alaei, H., and Tadaionnezhad, M. 2011. Comparison of vegetative growth and minituber yield of three potato cultivars in aeroponic and classical hydroponic with three different nutrient solution. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture 14 (4): 73-80. (in Persian)

Soffer, H., and Burger, D. W. 1988. Effects of dissolved oxygen concentration in aero-hydroponics on the formation and growth of adventitious roots. Journal of the American Society for Horticulture Science 3: 218-221. DOI: 10.21273/JASHS.113.2.218.

Struik, P. C., Van der Putten, P. E. L., Caldiz, D. O., and Scholte, K. 2006. Response of stored potato seed tubers from contrasting cultivars to accumulated day-degrees. Crop Science 46: 1156-1168. DOI: 10.2135/cropsci2005.08-0267.

Struik, P. C. 2007. The canon of potato science: Minitubers. Potato Research 50: 305-

308. DOI: 10.1007/s11540-008-9051-z.

Vreugdenhil, D., and Struik, P.C. 1989. An integrated view of the hormonal regulation of tuber formation in potato (*Solanum tuberosum*). Physiologia Plantarttm 75: 525-531. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1989.tb05619.x.

Walworth, J. L., and Carling, D. E. 2002. Tuber initiation and development in irrigated and non-irrigated potatoes. American Journal of Potato Research 79: 387-395. DOI: 10.1007/ BF02871683.

Genotype × Plantlet Age Interaction for Yield and Yield Components of Potato Minitubers in Aeroponic System

A. Mousapour Gorji[1*], D. Hasanpanah[2], S. Bouzhani[3], and H. R. Abdi[4]

1. Associate Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran.
2. Associate Professor, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Ardabil, Iran.
3. Former M. Sc. Student, Faculty of Agriculture, Islamshahr Branch, Islamic Azad University, Islamshahr, Iran.
4. Researcher, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran.

ABSTRACT

Mousapour Gorji, A., Hasanpanah, D., Bouzhani, S., and Abdi, H. R. 2022. Genotype × plantlet age interaction for yield and yield components of potato minitubers in aeroponic system. **Seed and Plant Journal 38:** 497-517 (in Persian).

To evaluate effect of genotype and plantlet age on the yield and yield components of potato minitubers, this study was conducted under aeroponic system conditions in Ardabil agricultural and natural resources research station and Behparvar Sabalan Ardabil Company in Aradbil in Iran. Four potato genotypes including; promising clones C-397097-2, C-397081-1, cv. Agria and cv. Caesar, and three plantlet ages including; 30, 40 and 50 days were experimented as factorial arrangements in completely randomized design with three replications. The results showed that tuberization and development of minitubers was delayed in the aeroponic system. The effect of plantlet age on yield and yield components was more pronounced than genotype. The effect of plantlet age was significant ($P \leq 0.05$) on all traits. Genotype × plantlet age interaction was significant for yield and yield components, except for single minituber weight. Clone C-397081-1 of 30-day plantlet age produced the highest minitubers plant^{-1} (57.3 minitubers plant^{-1}). For cv. Caesar and clone C-397097-2 of 40 days plantlet age were the best and produced on average 55.57 and 53.54 minitubers plant^{-1}, respectively. There was no significant difference between plantlet ages of 30 and 40 days for clone C-397097-2. The cv. Agria had the best response at the plantlet age of 40 days and had on average 45.7 minitubers plant^{-1}. Clone C- 397081-1, C-397097-2, cv. Agria and cv. Caesar produced on average 1203, 1235, 1113 and 1223 m^{-2}, respectively. Forward stepwise regression analysis showed that the mean single minituber weight and minituber weight plant^{-1} was important in the selection of potato genotype for production of large number of minitubers. The mean weight of single minituber and plant height were inversely related to minituber number. In conclusion, the maximum economic minituber production for each potato genotype was affected by the plantlets age. The plantlet age between 30 and 40 days was identified as suitable for transferring potato plantlets to areoponic system.

Keywords: Potato, minituber number m^{-2}, minituber weight, stem number plant^{-1}, plant height.

[*]**Corresponding author:** mousapour.gorji@gmail.com **Tel.:** +982636702983

Received: 31 October 2022
Accepted: 30 December 2022